
Электродинамика и антенные системы

УДК 523.164; 621.396.67

Статистические вопросы обнаружения радиотеплолокационных сигналов с учетом влияния фонового излучения

Федосеева Е.В.

Проведен анализ характеристик обнаружения радиотеплолокационных сигналов при учете наличия в антенной температуре составляющих, обусловленных фоновым излучением. Определены условия, при которых фоновое излучение значительно влияет на отношение сигнал – шум радиотеплолокационной системы в целом.

Ключевые слова: радиотеплолокационная система, фоновое излучение, отношение правдоподобия, отношение сигнал - шум.

Введение

Основная задача радиотеплолокации – получение информации об источниках радиотеплового излучения путем измерения создаваемого ими собственного радиотеплового излучения.

При радиотеплолокационных исследованиях проводятся измерения пространственного распределения радиояркостной температуры заданной области или оценка радиояркостного контраста отдельных составляющих неоднородного пространства. При этом обработка входного сигнала связана с решением вопроса о наличии на входе радиометрической системы сигнала от источника радиотеплолокационного излучения при условии, что кроме этого сигнала на входе присутствуют посторонние шумы внутреннего и внешнего происхождения.

Широкополосность радиотеплолокационных сигналов и случайный характер изменения амплитуды, частоты и фазы во времени определяют основной метод исследования - измерение средней мощности излучения. Кроме того, радиотеплолокационные измерения характеризуются неразличимостью по характеру информационного сигнала - широкополосного шума и помех, обусловленных внутренними шумами системы и внешним фоновым излучением, принимаемым через область рассеяния ДН антенны с ограниченной пространственной селективностью.

В результате все эти факторы обуславливают специфичность методов обнаружения и обработки в радиотеплолокации.

Постановка задачи

Радиотепловое излучение представляет собой случайный процесс, поэтому радиотепловые сигналы также являются реализациями случайного процесса. Радиотепловой сигнал может быть записан в виде [1]

$$u(t) = U(t) \sin(\omega_0 t + \Phi(t)), \quad (1)$$

где $U(t)$ - огибающая сигнала; $\Phi(t)$ - фаза сигнала; ω_0 - круговая частота, соответствующая центру полосы частот Δf , в которой наблюдается радиотепловой сигнал.

Фаза и огибающая сигнала – случайные функции времени, скорость изменения которых зависит от ширины полосы частот Δf .

Закон распределения радиотеплового сигнала можно считать близким к нормальному [2]

$$\omega(u) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где σ^2 - дисперсия радиотеплового сигнала.

В общей для радиосистем теории обнаружения принятие решения о наличии или отсутствии источника радиотеплолокационного излучения принимается по величине отношения правдоподобия. Рассмотрим данную характеристику для радиотеплолокатора в условиях действия внешних помех – фоново-

го излучения окружающего пространства, принимая следующие условия [1].

1. Сигнальная функция прямоугольная, физическая длительность сигнала равна его эффективной длительности t_c .

2. Полоса пропускания приемного устройства по высокой частоте идеально прямоугольна и равна Δf .

3. Спектральные плотности сигнала и шума в пределах полосы пропускания постоянны и равны

$$G_c = kT_{ca}, \quad (3)$$

$$G_{ш} = kT_{шпр} + kT_{ша}, \quad (4)$$

где T_{ca} - информационная составляющая антенной температуры, обусловленная приемом радишумового излучения через главный лепесток ДН антенны; $T_{шпр}$ - шумовая температура приемника, характеризующая уровень собственного шума приемника; $T_{ша}$ - шумовая составляющая антенной температуры, обусловленная приемом фонового излучения через область рассеяния ДН антенны.

4. Амплитуды сигнала и шума распределены по нормальному закону с нулевыми средними значениями и дисперсиями, равными

$$\sigma_c^2 = P_c = kT_{ca}\Delta f, \quad (5)$$

$$\sigma_{ш}^2 = P_{ш} = kT_{шпр}\Delta f + kT_{ша}\Delta f. \quad (6)$$

Так как шумовая составляющая антенной температуры и шумы приемника не коррелированы, то дисперсия суммарного шума согласно (6) равна сумме дисперсий этих шумовых составляющих.

Математические основы теории обнаружения радиотеплокационных сигналов

Отношение правдоподобия выражается через плотности вероятности входного воздействия при наличии и отсутствии сигнала [2]

$$\Lambda(u) = \frac{\omega_{сш}(u)}{\omega_{ш}(u)}, \quad (7)$$

где плотности вероятности смеси сигнал - шум и шума соответственно равны

$$\omega_{сш}(u) = \left[\frac{1}{2\pi(\sigma_c^2 + \sigma_{ш}^2)} \right]^n \exp \left[-\frac{1}{G_c + G_{ш}} \int_0^{t_c} u^2(t) dt \right], \quad (8)$$

$$\omega_{ш}(u) = \left[\frac{1}{2\pi(\sigma_{ш}^2)} \right]^n \exp \left[-\frac{1}{G_{ш}} \int_0^{t_c} u^2(t) dt \right]. \quad (9)$$

С учетом (8) и (9) выражение для отношения правдоподобия принимает вид

$$\Lambda(u) = \left[\frac{T_{шпр} + T_{ша}}{T_{шпр} + T_{ша} + T_a} \right]^n = \exp \left[\frac{1}{G_{ш}} \int_0^{t_c} u^2(t) dt - \frac{1}{G_{ш} + G_c} \int_0^{t_c} u^2(t) dt \right]. \quad (10)$$

Отношение правдоподобия согласно (10) является монотонной функцией величины $\int_0^{t_c} u^2(t) dt$ и выходной эффект оптимального приемника должен быть пропорционален этой величине.

$$u_{\text{опт}} = k \int_0^{t_c} u^2(t) dt. \quad (11)$$

Выражение (11) определяет известную процедуру оптимального обнаружения в радиотеплокационной системе: квадратичное детектирование с последующим интегрированием, причем длительность интегрирования должна быть равна длительности сигнала.

В радиотеплокации вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала определяются следующим образом [1]:

$$p_{лт} = p(\Lambda(u) > c) \Big|_{u=u_{лт}} = 1 - F(x_{лт}), \quad (12)$$

$$p_{пр} = p(\Lambda(u) < c) \Big|_{u=u_{пр}+u_c} = F(x_{пр}), \quad (13)$$

где $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ - интеграл вероятности; $x_{лт}$ и $x_{пр}$ - значения аргумента интеграла вероятности для заданных вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала, связанные соотношением

$$q(\sqrt{\Delta f \cdot t_c} + x_{пр}) = x_{лт} - x_{пр}, \quad (14)$$

где q - отношение сигнал - шум на входе системы, равное

$$q = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_{ш}^2} = \frac{T_{ca}}{T_{шпр} + T_{ша}}. \quad (15)$$

Таким образом, рабочие характеристики оптимального обнаружителя задаются параметром

$$q_b = q^2 \sqrt{\Delta f \cdot t_c}. \quad (16)$$

В радиотеплолокации пороговое принятие решения об обнаружении радиотеплолокационной цели соответствует ситуации, когда выходной сигнал равен среднеквадратическому значению выходного шума при значении порога, равному среднему квадрату распределения шума, т.е. при $q = 1$. Тогда вероятность превышения порога при отсутствии сигнала [1]

$$p_{лт} = 1 - F(1) = 1 - 0,84 = 0,16 \quad (17)$$

и при наличии сигнала

$$p_{по} = F(0) = 0,5, \quad (18)$$

где $p_{по}$ - вероятность правильного обнаружения.

Исследование влияния фонового излучения на характеристики обнаружения

Наличие помеховой составляющей $T_{ша}$ в антенной температуре радиотеплолокационной системы приводит к снижению общего отношения сигнал – шум $q_{сист}$ на входе системы.

Проанализируем, каким образом величина $T_{ша}$ влияет на характеристики обнаружения радиотеплолокационной системы. Для этого в общем отношении сигнал – шум $q_{сист}$ на входе системы необходимо выделить составляющие, обусловленные помеховой величиной антенной температуры $T_{ша}$ и шумами приемника $T_{шпр}$.

$$q_{сист} = \frac{T_{ca}}{T_{шпр} + T_{ша}} = \frac{1}{\frac{T_{шпр}}{T_{ca}} + \frac{T_{ша}}{T_{ca}}} = \frac{1}{\frac{1}{q_{пр}} + \frac{1}{q_a}} = \frac{q_{пр}q_a}{q_{пр} + q_a}, \quad (19)$$

где $q_{пр}$ - отношение сигнал – шум, определяемое по шумам приемника; q_a - отношение сигнал – шум, определяемое по помеховой составляющей антенной температуры.

Для анализа влияния помеховой составляющей антенной температуры на общее отношение сигнал – шум в радиолокационной системе была построена зависимость последнего при условии $q_{пр} = 1$ от величины q_a (рис. 1).



Рис. 1. Зависимость отношения сигнал-шум радиотеплолокационной системы от величины q_a при условии $q_{пр} = 1$

Согласно зависимости рис. 1, существенное влияние на общее отношение сигнал – шум радиотеплолокационной системы имеют величины q_a , численное значение которых находится в пределах от 0 до 10.

Для оценки измерительной ситуации, при которой имеют место такие значения отношения сигнал – шум, определяемого по помеховой составляющей антенной температуры q_a , необходимо проанализировать зависимость q_a от соотношения радиояркой температуры угловой области главного лепестка ДН антенны $T_{зл}$ и усредненного значения радиояркой температуры области рассеяния $T_{бок}$, а также от направленных свойств антенны – коэффициента рассеяния β . Результаты расчета величины q_a приведены на рис. 2 и 3.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что критическими с точки зрения обнаружения радиотеплолокационных целей при наличии помеховых составляющих антенной температуры являются следующие условия: существенное фоновое излучение при слабых направленных свойствах антенны системы.

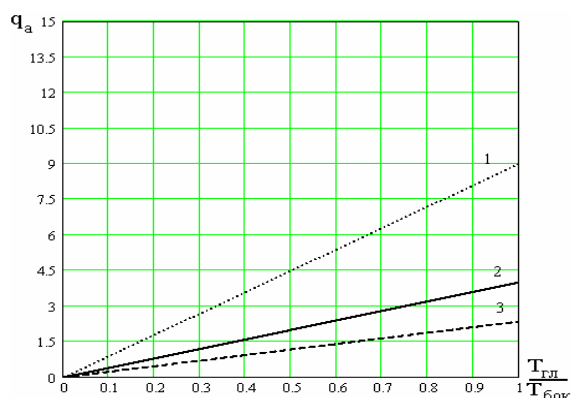


Рис. 2. Зависимость q_a от $T_{эл}/T_{бок}$ при значениях коэффициента рассеяния $\beta = 0.1$ (1), 0.2 (2), 0.3 (3) в случае наблюдения низкотемпературных радиотеплолокационных целей при высокотемпературном фоновом излучении

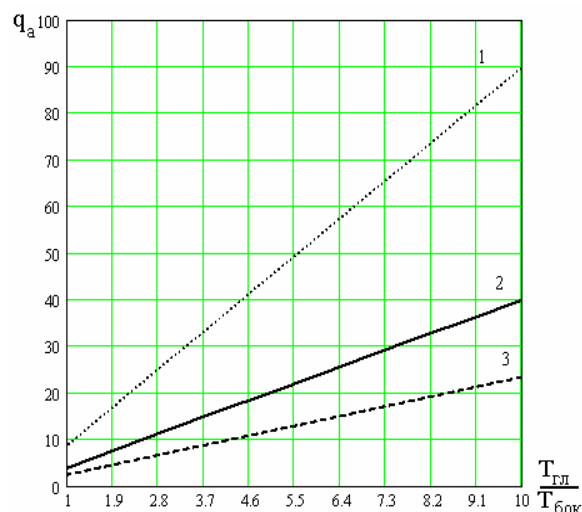


Рис. 3. Зависимость q_a от $T_{эл}/T_{бок}$ при значениях коэффициента рассеяния $\beta = 0.1$ (1), 0.2 (2), 0.3 (3) в случае наблюдения высокотемпературных радиотеплолокационных целей при низкотемпературном фоновом излучении

Поступила 23 января 2011 г.

The analysis of characteristics of detection radio noise signals is carried out at the presence account in antenna temperature of the components caused by background radiation. Conditions at which background radiation significantly influences the relation a signal – noise microwave radiometry systems as a whole are defined.

Key words: microwave radiometry system, background radiation, the credibility relation, the relation a signal - noise.

Федосеева Елена Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».

Заключение

Введение величины q_a - отношения сигнал – шум, определяемое по помеховой составляющей антенной температуры, позволяет проанализировать помеховое влияние фонового излучения в конкретной измерительной ситуации на величину общего отношения сигнал – шум радиотеплолокационной системы в целом.

Проведенный анализ показывает, заметное снижение возможности обнаружить радиотеплолокационные сигналы при расположении в области рассеяния ДН антенны зон пространства с высокой интенсивностью радиотеплового излучения, например, при наблюдении атмосферы с поверхности земли системой с сильно ограниченной пространственной селективностью, т.е. с антеннами с малой эффективной площадью, например, рупорами.

Литература

1. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплолокация. – М.: Сов. Радио, 1964. – 335 с.
2. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича – М.: Сов. радио, 1978 – 680 с.